

КОМПЕНСАЦИЯ ПУЛЬСАЦИЙ ТОКА ВО ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ЦЕПЯХ МНОГОФАЗНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

О.М. Артамонова

(Самара, Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики, artam_epus@mail.ru)

INDEMNIFICATION OF PULSATIONS OF A CURRENT IN ENTRANCE AND TARGET CHAINS OF MULTIPHASE PULSE CONVERTERS

O.M. Artamonova

Среди потребителей электроэнергии можно выделить устройства, системы или их совокупность, потребляющие значительные токи (порядка десятков, сотен Ампер и более) при достаточно низких напряжениях. При разработке преобразователей для электропитания подобных потребителей особое внимание заслуживают вопросы, связанные с повышением качества электрической энергии, которое существенно влияет на надежную работоспособность потребителей, с уменьшением энергетических потерь самого преобразователя и увеличением его удельной мощности, т.е. уменьшением габаритов и массы.

Если говорить об ограничении однофазного импульсного регулятора напряжения питания, то оно заключается в том, что и MOSFET-транзисторы, и индуктивности (дрессели), и емкости имеют ограничение по максимальному току, который через них можно пропускать. К примеру, для большинства MOSFET-транзисторов, которые используются в регуляторах напряжения материнских плат, ограничение по току составляет 30 А. В то же время сами процессоры при напряжении питания порядка 1 В и энергопотреблении свыше 100 Вт потребляют ток свыше 100 А. Понятно, что если при такой силе тока использовать однофазный регулятор напряжения питания, то его элементы просто «сгорят». Если говорить о недостатке однофазного импульсного регулятора напряжения питания, то он заключается в том, что выходное напряжение питания имеет пульсации, что крайне нежелательно.

Для того чтобы преодолеть ограничения по току импульсных регуляторов напряжения, а также минимизировать пульсации выходного напряжения, используются многофазные импульсные регуляторы напряжения

Известно [1], что в многофазных импульсных преобразователях (МИП) с силовыми каналами (СК) понижающего типа при коэффициентах накопления $K_n = t_n / T = k / N$ (t_n – время накопления энергии дросселем СК, T – период коммутации силового ключа СК, N – число СК МИП, $k=1,...,N$) амплитуда гармоники $N\omega_1$, где $\omega_1=2\pi/T$, обращается в ноль, так как $\sin(k\pi)=0$.

Действительно, анализируя временные диаграммы, иллюстрирующие электрические процессы функционирования отдельных СК и МИП в целом, нетрудно заметить следующее. При безразрывном токе дросселя СК в диапазоне изменения коэффициента накопления $0 \leq K_n \leq 1$ существуют такие значения K_n , при которых происходит одновременное отключение одного из СК и включение другого. При этом наблюдается частичная или полная компенсация переменной составляющей во входных или выходных цепях.

Например, при $K_n = k/N$, $k=1.....N$ и безразрывном токе дросселя СК пульсации выходного тока ΔI_n МИП с СК понижающего типа (с гальванической развязкой и без неё) становятся равными нулю, как это отмечено в [1]. Будем называть значения коэффициентов накопления K_n и связанные с ними значения параметров значениями в «особых» точках или «особыми» точками электрического процесса МИП.

Полная компенсация переменной составляющей при безразрывном токе дросселя СК наблюдается в особых точках при $K_n = k/N$, $k=1.....N$ не только относительно выходного тока МИП с СК понижающего типа, но и относительно тока потребления МИП с СК повышающего типа, т.е. в тех случаях, когда пульсации тока обусловлены компенсацией переменной

составляющей токами дросселей как накапливающих, так и возвращающих накопленную энергию. При безразрывном токе дросселя в особых точках имеем

$$\Delta I_o(K_n) = \Delta I_n(K_n) = 0 \text{ для СК понижающего типа,}$$

$$\Delta I_o(K_n) = \Delta I_n(K_n) = 0 \text{ для СК повышающего типа.}$$

Пусть к моменту времени $t \rightarrow t_1$ суммарный ток нагрузки МИП СК понижающего типа включает сумму токов p_1 дросселей, накапливающих энергию (I_{1n}) и b_1 дросселей, возвращающих накопленную энергию в нагрузку (I_{1o}): $I_1 = I_{1n} + I_{1o}$

Пусть к концу интервала $T_n = T/N$ ($t \rightarrow t_2$) суммарный ток нагрузки содержит суммы токов p_2 дросселей, накапливающих энергию (I_{2n}) и b_2 дросселей, возвращающих накопленную энергию (I_{2o}): $I_2 = I_{2n} + I_{2o}$.

В [2] показано, что особые точки определяются соотношением:

$$\Delta I_o(K_n) = I_1(K_n) - I_2(K_n) = 0, \quad K_n = k/N, \quad k=1, \dots, N, \quad (1)$$

где $I_1(K_n)$, $I_2(K_n)$ определяются из соотношений, приведенных в [2].

При разрывном токе дросселя из-за наличия времени (коэффициента) паузы t_n компенсация в особых точках происходит не всегда, а лишь при выполнении определенных условий:

$$\begin{cases} K_n = K_n & \text{или } K_n = k/N, \quad k=1, \dots, N, \\ t_{ck} = k \cdot t_n \end{cases} \quad (2)$$

Рассматривая МИП с СК понижающего типа при разрывном токе дросселя, преобразуем условие (2) к виду:

$$k/N = g_k = 2L_k I_{nk} / T U_n \quad (3)$$

Соотношение (3) позволяет выбрать один из параметров при прочих заданных для обеспечения $\Delta I_n = \Delta I_o(K_n) = 0$ в режиме разрывных токов дросселя, например:

$$I_{nk} = k \cdot T \cdot U_n / 2N \cdot L_k, \quad K_n = k/N, \quad k=1, \dots, N.$$

Преобразуем условие (2), рассматривая МИП с СК повышающего типа при разрывном токе дросселя и учитывая (1), (3), и получим:

$$k^2 / N^2 = 4L_k \cdot I_{nk} / T \cdot U_n \quad (4)$$

Соотношение (4) позволяет выбрать один из параметров при прочих заданных для обеспечения $\Delta I_n = \Delta I_o(K_n) = 0$ в режиме разрывных токов дросселя, например:

$$I_{nk} = k^2 \cdot T \cdot U_n / 4N^2 \cdot L_k, \quad K_n = k/N, \quad k=1, \dots, N$$

При безразрывном токе дросселя частичная компенсация пульсаций тока, как в выходных, так и во входных цепях МИП наблюдается при импульсном характере тока нагрузки или потребления. Пульсация тока МИП, обусловленная суммой импульсов тока СК, протекающего только на интервале накопления энергии дросселем, достигает максимума при $t \rightarrow t_1$. В точке t_1 происходит отключение СК с током равным $I_{max} = I_{mink} + I_{mk}$, в результате чего суммарный ток N СК уменьшается скачком и становится равным минимальному току МИП равному $I_{min} = I_{1n} - (I_{mink} + I_{mk})$. Поэтому пульсации тока МИП в общем случае определяются, например для МИП с понижающим типом СК, как $\Delta I_n = I_{nmax} - I_{nmin} = I_{mk} + I_{mink}$.

Литература

1. Кадацкий А.Ф., Артамонова О.М. Электрические процессы в многофазных импульсных преобразователях постоянного напряжения при разрывном и безразрывном режимах работы. В сб. "Системы и устройства электропитания радиоэлектронной аппаратуры" под ред. В.А.Колосова. - М.: "АО ВТ и ПЭ", 1994.
2. Артамонова О.М. Определение пульсаций выходного тока многофазного импульсного регулятора понижающего типа // "Физика и технические приложения волновых процессов": тезисы докладов VII МНТК, посвященной 150-летию со дня рождения А.С. Попова: - Самара, сентябрь, 2008 г.